

# Action n°2 – opération de recherche SERRES

## Synthèse des livrables



### Historique des versions des documents

Version	Date	Commentaire
V0	12/02/15	Rédaction du document
V1	17/02/15	Relecture Sylvain Belloche (DTecTV)

### Rédacteurs :

- Guénaëlle BERNARD – Cerema / Direction territoriale Ouest – DIMER/ GIT  
guenaelle.bernard@cerema.fr – Tél : 02 40 12 83 56

### Validation :

Date	Nom du valideur	Commentaire

Mots-clés :

# Sommaire

Introduction.....	4
1 - Connaissances des impacts d'aménagements dynamiques de l'espace routier.....	5
1.1 - Introduction.....	5
1.2 - Entretiens sur la GDV.....	5
1.3 - Analyse bibliographique des manques dans le déploiement de mesures de gestion dynamique des voies en France et à l'étranger.....	7
1.4 - Simulation dynamique des effets de mesures de gestion dynamique des voies.....	9
1.5 - Analyse du comportement et de la compréhension des usagers à l'aide d'un simulateur de conduite.....	10
2 - Conditions de mise en œuvre d'un aménagement dynamique de l'espace de circulation : signalisation, équipements, coûts associés.....	11
3 - Évaluation a posteriori de dispositifs de GDV.....	12
3.1 - Introduction.....	12
3.2 - Évaluation de la voie réversible du pont de St-Nazaire (trafic, sécurité, environnement).....	13
Conclusions.....	17
Annexe : rapports produits dans l'action n°2 de l'opération de recherche SERRES.....	18

Page laissée blanche intentionnellement

## Introduction

L'opération de recherche « SERRES » (Solutions pour une Exploitation Routière Respectueuse de l'Environnement et de la Sécurité), opération de recherche Cerema/Ifsttar 2011-2014, a pour ambition de produire des recommandations et des solutions permettant de limiter l'empreinte environnementale de la circulation routière, notamment au travers de l'amélioration de l'écoulement des trafics par la gestion dynamique des voies (action n°2 de cette opération).

En effet, l'optimisation de l'usage des réseaux routiers existants prime désormais clairement sur leur extension, afin de limiter le développement des nuisances liées à la circulation routière, l'impact sur les ressources naturelles et en raison de contraintes financières fortes. Ceci amène, entre autres, les gestionnaires routiers à envisager des reconfigurations dynamiques de l'espace routier, pour améliorer l'écoulement du trafic, favoriser certains modes comme les transports collectifs ou le covoiturage, en adaptant ainsi au plus près l'offre routière à la demande de déplacements. Cependant, les impacts de ces stratégies d'exploitation dynamique, les méthodes de mise en œuvre favorisant la réussite des projets ou leur acceptation par les usagers restent encore mal connus en France.

Actuellement, du fait du peu de recommandations, ces aménagements dynamiques se font sur la base de principes et de technologies variés, à dire d'experts, rendant délicate toute conclusion sur les facteurs de réussite ou d'échec d'un projet.

L'action n°2 de cette opération de recherche portait uniquement sur les dispositifs de gestion dynamique des voies (GDV), et non sur l'ensemble de la gestion dynamique (régulation des vitesses, etc.). Les différents aménagements étudiés sont l'utilisation de voies auxiliaires (exploitation de la BAU en périodes de pointe), de voies réversibles (circulation d'une ou plusieurs voies dans un sens le matin, dans le sens opposé le soir), de voies tarifées en fonction du trafic, et de voies à usage réservé (transports en commun, taxis, covoiturage, etc.).

Le travail accompli dans le cadre de cette action a permis d'améliorer les connaissances sur les aménagements et les équipements à mettre en place, afin de satisfaire le besoin d'un gestionnaire pour optimiser l'exploitation d'une section de son réseau, et d'analyser l'acceptabilité et la compréhension des usagers pour un dispositif de gestion dynamique des voies particulier, la voie réversible.

Le présent rapport a pour objectif de présenter une synthèse des différents livrables produits dans le cadre de l'action n°2 et de mettre en exergue les besoins complémentaires en terme de recherche. Pour ne pas interpréter les propos des auteurs, des extraits de rapports sont repris. Tous les rapports cités (cf. annexe) dans ce document sont consultables sur le site Internet de l'Ifsttar dédié à l'opération de recherche SERRES <http://serres.ifsttar.fr>.

Cette action se décompose en 3 volets :

- Volet 2.1 : Connaissances des impacts d'aménagements dynamiques de l'espace routier
- Volet 2.2 : Conditions de mise en œuvre d'un aménagement dynamique de l'espace de circulation : signalisation, équipements, coûts associés
- Volet 2.3 : Evaluation a posteriori de cas concrets.

Elle a été animée par :

- Guénaëlle Bernard, Cerema / Direction territoriale Ouest,
- Roland Brémond, Ifsttar / LEPSIS.

# 1 - Connaissances des impacts d'aménagements dynamiques de l'espace routier

## 1.1 - Introduction

*Partenaires : Ifsttar / LEPSIS, Cerema / DTer Centre Est (y compris ERA 38), DTer Ouest (y compris ERA 33), DTer Méditerranée*

Ce volet visait à connaître plus précisément les conséquences d'un aménagement dynamique de l'espace de circulation sur l'écoulement du trafic et sur les aspects liés à la sécurité et à l'environnement.

Pour cela, plusieurs axes de travail ont été suivis :

- En préambule, identifier les besoins en recherche que ce soient en termes de doctrine technique, de méthodologies ou d'équipements en questionnant des maîtres d'ouvrages, des gestionnaires routiers, des ingénieurs et des chercheurs en gestion dynamique des voies
- capitaliser les informations aujourd'hui partiellement disponibles pour les différents types d'aménagements dynamiques en France et à l'étranger y compris en modes dégradés ; cet état de l'art a porté notamment sur la réglementation, la mise en œuvre de ces aménagements et l'impact sur le trafic, la sécurité, le comportement des usagers, et l'acceptabilité sociale des différents systèmes
- simuler dynamiquement les effets a priori de mesures de gestion dynamique des voies à l'aide de logiciels de modélisation du trafic afin d'identifier les gains potentiels d'une mesure de GDV et d'alerter le maître d'ouvrage sur les paramètres clés et les points de vigilance
- analyser le comportement et la compréhension des usagers à l'aide d'un simulateur de conduite pour un dispositif de gestion dynamique des voies particulier (voie auxiliaire).

## 1.2 - Entretiens sur la GDV

Afin de mieux orienter l'action 2 de SERRES, mais également les prochaines actions de recherche, il est apparu intéressant à l'équipe de recherche de se rapprocher de maîtres d'ouvrage routiers (DSCR, DGITM), d'experts (IFSTTAR, Cerema / DTechITM, DtechTV, et directions territoriales – ex - SETRA, CERTU et CETE) et de gestionnaires routiers (Direction Interdépartementales des Routes, conseils généraux, sociétés d'autoroute) et de les interroger sur les manques, les difficultés et les besoins qu'ils soient techniques, matériels ou réglementaires pour le déploiement de mesures de gestion dynamique des voies. Seize personnes ont été interrogées, en raison de leurs connaissances sur le sujet de la gestion dynamique des voies. Il a été décidé de ne pas questionner de « néophytes » pour véritablement identifier les manques actuels.

### 1.2.1 - Les difficultés majeures

Les personnes interrogées ont reconnu tout l'intérêt de la gestion dynamique des voies (GDV), « un dispositif du futur ou d'avenir », eu égard aux résultats performants des expériences étrangères, même si elle est très peu connue et utilisée aujourd'hui en France. La GDV est un moyen d'optimiser l'infrastructure existante pour différents critères, comme l'augmentation de capacité pour tous les véhicules, ou la priorisation de circulation de certains usagers (transports en commun ou co-voiturage), notamment pour réduire l'auto-solisme.

Elles ont également insisté sur le fait que la GDV doit être « un dispositif pérenne et performant dans le temps ». Les outils et équipements doivent, par conséquent, s'adapter pour concevoir des projets plus durables.

Outre les difficultés liées à la réglementation, aux équipements et à la doctrine technique, les personnes interrogées ont évoqué de nombreux obstacles dans le déploiement de dispositifs de gestion dynamique des voies comme la gouvernance du projet ou la lourdeur administrative pour demander une autorisation d'expérimenter.

Il a également été souligné à plusieurs reprises dans les entretiens qu'il n'existe pas d'équipements, ni de schémas de signalisation standardisés, ce qui entraîne l'obligation d'expérimenter. Cette non-standardisation pose des difficultés dans la définition des projets, mais également des problèmes de maintenance et éventuellement de non-concurrence (pour les plots dynamiques notamment). Les Feux d'Affectation des Voies (FAV) et les Panneaux à Messages Variables (PMV) doivent être le cœur du système de GDV, car ces équipements figurent déjà dans le code de la route (tunnels, barrières d'autoroutes, etc.).

### **1.2.2 - La compréhension des dispositifs de GDV par les usagers**

Toutes les personnes interrogées s'accordent à dire que pour permettre une bonne compréhension par les usagers, il faut que les systèmes soient les plus simples possibles avec des équipements légers, homogènes et adaptés. Il convient de respecter les principes de la signalisation routière, notamment le principe de concentration : l'utilisateur doit pouvoir lire les messages qu'on lui délivre au bon moment, au bon endroit, sans surcharge ni redondance afin qu'il puisse les comprendre, puis les mémoriser.

A partir d'expérimentations existantes, il faut évaluer des combinaisons de dispositifs et aménagements, lesquels, pris séparément, sont, de préférence, réglementaires et existent dans la réglementation actuelle. Des solutions simples et efficaces doivent pouvoir être mises en place rapidement.

Plusieurs échelles de temps sont à considérer : il faut communiquer à chaque instant l'état des voies aux usagers (avant, pendant et après).

### **1.2.3 - Les besoins en terme de recherche**

En préalable, certaines personnes interrogées ont noté que la recherche n'était pas assez opérationnelle et qu'il était nécessaire de disposer d'un continuum entre la recherche et l'application sur le terrain. L'émergence des besoins du terrain doit être issue d'une meilleure écoute des futurs utilisateurs (approche Top - Down, dans les deux sens). De plus, il existe une différence de point de vue entre les personnes interrogées sur l'essor des mesures de gestion dynamique, et notamment entre l'auto-solisme et la priorisation des transports en commun, ce qui entraîne des divergences de points de vue sur les besoins en recherche.

Les entretiens ont permis de mettre en évidence les besoins suivants en termes de recherche :

- les actions pour favoriser l'alternatif à la voiture solo,
- la nécessité ou non de maintenir la BAU : « faut-il absolument la conserver quand on voit qu'elle ne sert pas énormément ? »
- la systématisation des évaluations multi-critères pour davantage capitaliser : il faut penser à déployer bien en amont les équipements spécifiques pour l'évaluation de l'aménagement en ayant au préalable rédigé de solides protocoles d'expérimentation.

- l'information des usagers pour permettre une bonne compréhension, une meilleure acceptabilité et ainsi un meilleur respect de la mesure
- une harmonisation européenne sur les dispositifs proposés : il faudrait rechercher une cohérence d'ensemble entre les pays
- une simplification et une standardisation des dispositifs implantés (diminution du nombre d'équipements), avec pour conséquence une baisse des budgets d'investissement et de fonctionnement. La recherche pourrait évaluer des aménagements existants en étudiant la possibilité de réduire le nombre d'équipements pour faire des économies d'échelle. Ainsi, il serait intéressant de dégrader les informations données à l'utilisateur (signalisation, équipements) sur la base d'un cas existant.
- les plots lumineux (compréhension, acceptabilité, industrialisation, standardisation). Il faudrait également explorer l'apport possible de l'holographie pour remplacer les plots lumineux.
- les moyens de contrôle cohérents vis-à-vis de la mesure (nombre de passagers par voiture, usage de la BAU, de la voie réversible, et la détection de contre-sens).
- l'apport des systèmes coopératifs pour l'exploitation des mesures de gestion dynamique (à l'étude dans Nearctis, projet de recherche européen). Leur apport pourrait concerner l'ouverture ou la fermeture de la voie auxiliaire en offrant de nouvelles options d'information et de signalisation.
- et enfin, les voies à haut niveau de service sur autoroutes, selon l'approche des HOT, « High Occupancy Toll », développées aux Etats-Unis, et qui n'ont pas encore été implémentées en France.

### **1.3 - Analyse bibliographique des manques dans le déploiement de mesures de gestion dynamique des voies en France et à l'étranger**

Cette analyse bibliographique a également alimenté le volet 2.2 de l'action n°2 de SERRES concernant la signalisation et les équipements associés aux mesures de gestion dynamique des voies.

Le travail important de collecte de rapports produits en France, mais également à l'étranger, avait pour objectif de dresser un état de l'art des dispositifs de GDV et également d'analyser les manques en termes de méthodes, de doctrines techniques et d'outils et enfin, d'identifier les apports possibles de la recherche sur :

- la compréhension des dispositifs et le comportement de l'utilisateur,
- la réglementation et les recommandations associées,
- l'absence d'évaluation a priori de la compréhension des équipements.

Dans ce rapport, on trouve de grandes similitudes dans les conclusions avec la synthèse des entretiens réalisés avec les maîtres d'ouvrages et les gestionnaires routiers (cf. ci-avant).

*« La réglementation française ne permet pas le déploiement de dispositifs de GDV éprouvés, sécuritaires et efficaces. De plus, elle évolue trop lentement au regard des nouvelles techniques et technologies disponibles. Au contraire, à l'étranger, elle fournit parfois un véritable socle pour harmoniser et sécuriser les déploiements.*

*La doctrine technique française est encore peu développée, mais elle peut se nourrir des éléments disponibles à l'international. C'est d'ailleurs de cette façon qu'ont procédé les rédacteurs du rapport Pollet (Pollet et al, 2005) et du dossier « voies réservées sur VSA » (CERTU-CETE, 2013).*



*La mise en place d'outils nationaux pour établir des procédures d'exploitation adaptées à chaque dispositif, mais permettant également des déploiements harmonisés et non onéreux, ressort également comme une nécessité. Ces procédures doivent inclure la définition et la gestion des modes dégradés ainsi que le séquençement de la signalisation et des équipements dynamiques permettant d'informer l'utilisateur sur l'état de la voie dynamique. Ces procédures d'exploitation existent cependant en partie aujourd'hui pour les voies réservées aux transports en commun, notamment lorsque ceux-ci circulent sur l'espace faisant fonction de bande d'arrêt d'urgence. [...]*

*Dans le domaine de l'évaluation, les manques et besoins actuels sont en grande partie considérés dans un groupe de réflexion à l'échelle du Cerema avec l'élaboration d'un guide méthodologique et d'outils pour l'évaluation des projets de gestion du trafic. Ce guide et ces outils permettront certainement une meilleure prise en compte de l'évaluation pour les projets et opérations actuelles, ainsi qu'une meilleure capitalisation des impacts des mesures de gestion dynamique des voies. »*

Ce rapport a identifié les manques suivants pour lesquelles des actions de recherche devraient être entreprises.

*« Sur la vitesse, il y a une vraie problématique à traiter à l'échelle nationale, et non pas à l'échelle d'un projet : quelle vitesse réglementaire pour quel aménagement ? Comment gérer dynamiquement la vitesse en fonction de l'état d'activation de la GDV ? Quel différentiel de vitesse est admissible entre des voies de circulation adjacentes ? Comment gérer ce différentiel de vitesse ? L'exemple de la VSP est un bon point de départ pour traiter la problématique, et une ORSI vitesse devrait traiter ces questions très prochainement. Cette ORSI doit pouvoir traiter les deux aspects du problème : celui de la limitation (dynamique) de vitesse et celui du différentiel de vitesse entre voies adjacentes pour lesquelles l'écoulement est différent. Ce traitement permettrait d'aboutir à une doctrine voire à une réglementation comme cela existe déjà dans différents pays européens ou aux États-Unis.*

*Sur la circulation des transports en commun sur l'espace faisant fonction de bande d'arrêt d'urgence, beaucoup de questions restent en suspens. Quelques réponses existent bien, mais elles ne sont pas suffisamment étayées pour être validées. Ces questions concernent notamment : la signalisation et les équipements à déployer, les procédures d'exploitation notamment en cas de véhicules en panne, la gestion des échangeurs, la marche normale à suivre pour le car et la pertinence d'un nombre minimal et/ou maximal pour dédier un espace pour une voie réservée aux transports en commun.*

*Concernant les voies auxiliaires, une des questions principales relatives à l'exploitation concerne la gestion des catégories de véhicules tels que les poids-lourds ; faut-il les interdire sur la voie auxiliaire au risque de voir celle-ci peu utilisée (comme sur M42 au Royaume-Uni) ou au contraire de les autoriser au risque de faire de cette voie une « voie poids-lourds » (de façon à peu près similaire à ce qui se passe sur A1 en Suisse) ?*

*Pour ces deux mesures, à l'heure où existe une volonté d'harmonisation de la signalisation et des équipements à l'échelle européenne, mais aussi une volonté de réduire les coûts d'investissement, de fonctionnement et de maintenance, la question du type d'équipements à mettre en place, de la signalisation à adopter pour une bonne compréhension par l'utilisateur du dispositif est également primordiale : comment faire pour déployer à moindre coût, en faisant en sorte que l'opération améliore les conditions de circulation de tout ou partie des usagers, en leur garantissant voire en améliorant la sécurité ? La question de l'acceptabilité des dispositifs, notamment ceux qui favorisent un mode de transport par rapport à un autre est également posée à travers cette analyse de l'état de l'art.*

*La compréhension des changements d'états d'une voie dynamique par l'utilisateur est une question peu traitée actuellement. Or, l'utilisateur émet parfois des doutes sur les règles qui régissent ces changements.*

*Ces règles elles-mêmes se basent sur une algorithmie aujourd'hui peu robuste, peu homogène d'un site de déploiement à un autre et encore peu capitalisée. Une des pistes potentielle de la recherche doit concerner le processus d'activation, de changement d'état et de désactivation pour chaque famille de mesure de gestion dynamique des voies.*

*Enfin, en matière d'évaluation, la recherche pourrait utilement porter sur la réalisation d'outils et de logiciels pour une amélioration de l'évaluation a priori des mesures de gestion dynamique des voies. En effet, de récentes évaluations a priori montrent des lacunes, notamment dans le report de la congestion prévue ou par rapport au trafic attendu sur une voie dédiée comme une voie de covoiturage. Aussi, disposer d'outils d'évaluation simples mais robustes permettrait une amélioration notable des résultats relatifs aux impacts d'une mesure de gestion dynamique des voies. »*

## **1.4 - Simulation dynamique des effets de mesures de gestion dynamique des voies**

L'ERA38 (Cerema / DTer Centre Est) a mené une première étude visant à tester la capacité de trois logiciels de simulation dynamique (Aimsun, Dynasim et SymuVia) à reproduire les effets des dispositifs de régulation dynamique. Cette étude s'est limitée à tester les dispositifs de régulation des vitesses et de régulation d'accès. L'étude menée dans le cadre de SERRES avait pour objectif d'évaluer la capacité des outils de simulation dynamique à reproduire les effets d'une mesure de GDV, et en particulier de :

- rappeler les règles d'usage élémentaires des outils de simulation, les cadres d'emploi, les avantages et les limites de ces outils ;
- vérifier que les outils de simulation dynamique sont effectivement en mesure de prendre en compte les caractéristiques d'offre et de demande de trafic lors de la mise en place d'une mesure de GDV ;
- donner des conseils aux utilisateurs pour facilement identifier les paramètres leviers des outils de simulation dynamique et faciliter la délicate étape de calage de ces modèles.

Dans son rapport, A. Duret, Cerema / DTer Centre Est, conclut qu' « *il est possible d'évaluer une mesure de GDV avec un outil de simulation du trafic, à condition de respecter les préconisations suivantes :*

*Lors de la définition du modèle, il est nécessaire de définir correctement l'ensemble des entrées du modèle, notamment pour le réseau routier dont les particularités géométriques des voies dynamiques doivent être représentées, et pour la demande de trafic pour laquelle il est nécessaire de distinguer les différentes catégories d'usagers de la route (véhicules de covoiturage, etc.). Concernant la demande, une précaution à prendre dans la détermination de celle-ci sur la voie spécifique est d'estimer le nombre de véhicules qui utilisent effectivement cette voie. En effet, l'expérience montre que cette demande ne correspond pas au nombre de véhicules éligibles : il faut y ajouter les véhicules en infraction (non éligibles mais qui y circulent malgré tout) et y soustraire les véhicules qui, en dépit de leur droit d'utiliser la voie spécifique, ne l'utilisent finalement pas.*

*Lors du calage du modèle, il est ensuite nécessaire d'être rigoureux durant la phase d'ajustement des paramètres de simulation. Pour cela, on doit naturellement suivre les méthodes de calage préconisées dans l'état de l'art. Il est également nécessaire de porter une attention toute particulière autour des zones d'échange (bretelle d'insertion / bretelle de sortie) autour desquelles les systèmes de GDV peuvent être la source d'une activité soutenue de changements de voie et donc de perturbations plus globales sur le réseau.*

*Enfin, les mesures de GDV sont généralement mises en place pour favoriser une catégorie de véhicule (TC, covoiturage, etc.) et globalement améliorer la capacité de transport de l'infrastructure routière. Pour une évaluation correcte de ces mesures, il est sans doute pertinent de réfléchir à l'élaboration d'indicateur de performance spécifiquement dédiés aux mesures de GDV. À titre d'exemple, la thèse de Xiaoyan Xie (IFSTTAR) propose de remplacer les indicateurs en flux de véhicule par des indicateurs en flux de passagers. L'auteur montre que cette transposition, simple en apparence, peut renverser entièrement les conclusions d'une étude en simulation dynamique. »*

## **1.5 - Analyse du comportement et de la compréhension des usagers à l'aide d'un simulateur de conduite**

Afin de mieux appréhender la compréhension des usagers concernant la signalisation d'un dispositif de GDV et de tester différentes séquences de signalisation, il est apparu intéressant d'utiliser un simulateur de conduite. L'équipe de recherche a décidé de retenir comme sujet d'expérimentation la gestion d'une voie auxiliaire (BAU ouverte aux heures de pointe à tous les véhicules) sur une voie structurante d'agglomération.

En préambule, l'ERA 33 a élaboré un questionnaire qui portait à la fois sur la connaissance et la représentation actuelle de la BAU par les usagers et sur l'évaluation a priori de différentes signalisations verticales pour informer l'utilisateur sur la possibilité d'emprunter ou non une voie auxiliaire. 41 personnes ont répondu à ce questionnaire, ce qui a permis d'avoir un panel représentatif (genre, expérience de conduite, âge, professionnel de la route, types de véhicules utilisés, etc.). Cependant, les résultats de cette enquête, très riches d'enseignements, n'ont jusque là fait l'objet d'aucune publication par l'ERA33, faute de temps et de moyens humains. Un rapport est néanmoins prévu en 2015.

L'exploitation de ce questionnaire a permis de retenir 3 séquences de signalisation pour la simulation de conduite. L'Ifsttar / Lepsis a réalisé l'animation pour cette expérimentation, mais elle n'a pu être menée à son terme par l'ERA33 dans le cadre de la présente opération de recherche SERRES, faute de temps.

## **2 - Conditions de mise en œuvre d'un aménagement dynamique de l'espace de circulation : signalisation, équipements, coûts associés**

Ce volet visait à une meilleure connaissance des différentes possibilités d'aménagement d'un projet de gestion dynamique de l'espace de circulation. L'objectif final était de permettre de faire émerger de nouveaux types d'équipements et la signalisation associée et de contribuer ainsi à la doctrine technique. Cependant, un seul projet de recherche portant sur les plots routiers à LED autonome a été mené dans ce cadre.

L'objectif du projet de recherche européen INROADS « INtelligent Renewable Optical ADvisory Systems » est de mettre au point un plot routier à LED autonome en énergie et de proposer des applications routières pour ces plots.

L'IFSTTAR / Lepsis était responsable d'un Work Package sur l'évaluation a priori des dispositifs innovants sur le plan photométrique (comment choisir les niveaux lumineux pour qu'ils soient à la fois visibles et pas éblouissants), et sur le plan comportemental.

Une expérimentation sur simulateur de conduite a permis, pour ce dernier aspect, de montrer un bénéfice dans le contrôle du véhicule en virage avec les plots lumineux par rapport à une condition sans plot, même par rapport à l'éclairage public sous certaines conditions.

## 3 - Évaluation a posteriori de dispositifs de GDV

Partenaires : Cerema DTer Ouest (y compris ERA 33 et ERA 17)

### 3.1 - Introduction

Ce volet visait à procéder à une évaluation multi-critères de systèmes de gestion dynamique des voies après mise en service. Ces évaluations devaient permettre de juger de l'efficacité, de l'acceptabilité des usagers et du coût d'aménagements dynamiques. Le contenu de ce volet dépendait en partie des opportunités d'évaluation d'actions de gestion dynamique des voies engagées par des gestionnaires de voirie d'ici 2014. Cependant, seule la voie réversible du pont de St-Nazaire a pu être évaluée a posteriori, car aucun autre aménagement de GDV n'a été réalisé en France sur la période 2011 – 2013 (hormis la voie réservée aux bus et aux taxis sur A1. Cependant, la mise en oeuvre de cette mesure a été complexe : les résultats de l'évaluation menée par l'Ifsttar sont donc difficilement extrapolables).

Les critères d'évaluation ont porté sur les aspects trafic, sécurité, comportement des usagers, environnementaux et acceptabilité.

Les axes de travail de ce sujet ont été de différentes natures :

- recueil de données (trafic notamment) et d'images vidéos
- enquêtes terrain auprès de l'exploitant et d'usagers qui empruntent fréquemment la voie gérée dynamiquement.

Il était également prévu que l'ERA17 du Cerema / DterOuest réalise une recherche complémentaire afin :

- d'évaluer l'impact des aménagements liés au système de voie réversible du pont de St-Nazaire sur le comportement visuel des usagers,
- d'évaluer la pertinence, notamment en termes de récurrence, des aménagements (portique d'affectation de voies, balisage à LEDs rouges sur la chaussée).
- d'identifier des comportements visuels spécifiques suivant le type d'usagers (actifs / retraités, habitués du dispositif / novices).
- et d'examiner l'influence de l'environnement (jour vs nuit, conditions météorologiques, trafic).

Deux technologies devaient être utilisées pour cette expérimentation :

- le système Cyclope<sup>2</sup> (caractérisation de l'environnement visuel des conducteurs),
- Oculomètre Pertech tête portée (mesures des points de fixation du regard dans une scène routière).

Cependant, l'oculomètre n'a pu être mis en œuvre dans des conditions météorologiques suffisantes à la réalisation de l'expérimentation envisagée. L'enjeu de cette recherche était de pouvoir recouper, voire corréler le comportement visuel de plusieurs conducteurs. Or, les derniers tests effectués ont montré qu'en l'état actuel des connaissances, l'oculomètre ne pouvait être utilisé pour l'instant, que dans des conditions ultra contrôlées (type salle de simulateur) quand il s'agit de mener des expérimentations avec un panel de sujets. Par conséquent, la technologie de l'oculomètre doit encore évoluer pour être mise en œuvre avec de nombreux sujets, de façon maîtrisée et répétable, dans des conditions de luminosité fluctuantes et de surcroît en dynamique.

## **3.2 - Évaluation de la voie réversible du pont de St-Nazaire (trafic, sécurité, environnement)**

### **3.2.1 - Présentation de l'opération**

Le Pont de Saint-Nazaire est un ouvrage d'art à 3 voies de circulation qui relie Saint-Brévin (secteur très résidentiel) à St-Nazaire (bassin d'emplois) par la RD213 (route à 2x2 voies en amont et en aval du Pont) et qui supporte un trafic de l'ordre de 30.000 véh/j en moyenne sur l'année. En raison de nombreux déplacements domicile – travail, les bouchons étaient très fréquents dans le sens de circulation St-Brevin – St-Nazaire le matin, et dans l'autre sens en fin d'après-midi ; le temps de traversée de l'ouvrage pouvant aller jusqu'à 20 minutes, alors qu'il est seulement de 5 minutes en heures creuses. Il est à noter que la plate-forme de l'ouvrage ne peut être agrandie pour permettre la création d'une 4ème voie.

Pour remédier à ce problème de bouchons récurrents, le Conseil général de Loire-Atlantique a mis en service fin août 2010 un système très innovant en France d'exploitation du pont de St-Nazaire, qui consiste à modifier le sens de circulation de la voie centrale de l'ouvrage selon les besoins du trafic.

Les nouveaux équipements dynamiques sont principalement :

- des biseaux de rabattement automatiques (BRA) qui permettent de rabattre les usagers sur une voie quand la voie réversible est fermée dans leur sens de circulation,
- des plots rouges bidirectionnels qui délimitent de part et d'autre la voie réversible,
- des signaux d'affectation des voies (SAV) qui indiquent aux usagers si les voies sur le pont sont ouvertes, en cours de basculement ou fermées,
- des caméras de vidéosurveillance pour visualiser l'ensemble du pont de St-Nazaire avant d'ouvrir la voie réversible.

Les évaluations réalisées par le Cerema / DTer Ouest avaient deux cadres : le premier, répondre à la demande de la DSCR concernant l'expérimentation de la voie réversible du pont de Saint-Nazaire ; le second, contribuer au programme de recherche SERRES.

### **3.2.2 - Évaluation de la sécurité et des impacts sur le trafic**

Globalement, même si durant l'été 2011 des ralentissements ont été observés, le système d'affectation dynamique a permis d'optimiser la gestion de la circulation et d'apporter une très bonne fluidité du trafic, puisque seulement environ 20 jours ont été marqués par des ralentissements importants depuis la mise en service du système de fin août 2010 à fin août 2011. Ces ralentissements, identifiés lors de l'élaboration du projet, se produisent en raison d'un trafic équilibré dans les deux sens de circulation pendant la période estivale. Le temps de traversée du pont est à présent quasi constant et se situe entre 5 et 6 min, y compris aux heures de pointe.

Les usagers se montrent très satisfaits du dispositif qui ne semble pas leur poser de problème de compréhension. L'analyse de la main courante du gestionnaire et des procès-verbaux d'accidents a montré qu'aucun accident corporel lié à une mauvaise compréhension du système ne s'est produit depuis la mise en service du système.

Il est à présent parfaitement opérationnel et très bien approprié par les opérateurs du PC-Routes et les agents du CIS de Trignac. Les modes de circulation prévus, matin et soir, ont été activés aux heures prévues tous les jours. Tous les modes d'interventions ont pu être testés et consolidés et le SAGT montre toute son efficacité dans la mise en oeuvre de ces modes.

Cependant, le dispositif expérimental des plots lumineux n'a pas donné entière satisfaction et de nombreuses interventions d'ajustements, de correction et de réglage ont été nécessaires durant toute la première année de mise en service. Ce système est composé de plots rouges visibles dans les deux sens de circulation réalisés spécifiquement pour cette opération et installés dans un environnement contraint (encastrés dans une faible épaisseur de chaussée et sur un grand ouvrage d'art), et sous circulation, ce qui en fait un dispositif particulièrement expérimental. A aucun moment, ces anomalies n'ont mis en jeu, ni la régularité, ni la sécurité des trajets.

Ces différents dysfonctionnements ont fait l'objet de reprises fin 2010 qui devaient permettre de pérenniser le dispositif (carte électronique légèrement modifiée, produits de scellement adaptés sur la travée métallique, problèmes de raccordement). Cependant, des dysfonctionnements sont encore apparus au 1er semestre 2011 (humidité dans certains plots et coupure de ligne électrique sur certains blocs de plots). Par conséquent, un collègue d'expert a validé le principe du remplacement complet de l'ensemble du câblage et des plots, par la mise en place de matériels renforcés et un câblage mieux protégé.

Enfin, le Conseil général de Loire-Atlantique a implanté quelques équipements complémentaires, notamment au sud de l'ouvrage afin d'améliorer la gestion du trafic et l'information des usagers surtout pendant la période estivale. L'État a également installé un radar automatique "vitesses moyennes" (ETVM).

### 3.2.3 - Évaluation environnementale

L'objectif de cette évaluation était de quantifier les émissions des principaux polluants d'origine routière, des gaz à effet de serre (équivalent CO<sub>2</sub>) et la consommation énergétique des véhicules pour différentes conditions de trafic pertinentes relativement à l'aménagement effectué à l'aide de l'outil de modélisation ARTEMIS, le plus pertinent pour la prise en compte des situations de trafic (rapport de thèse Stéphane Chanut 2009, ENPC). Cet outil permet de calculer les émissions des principaux polluants d'origine routière en fonction des conditions de trafic du tronçon routier considéré (fluide, dense, saturé et stop and go).

Par défaut, ARTEMIS utilise le parc français (nombre de véhicules routiers circulant à un moment donné sur un territoire choisi) établi en 1998 par l'Ifsttar. Cela conduit à quelques incertitudes dans les résultats car il ne prend pas en compte les évolutions de ces dernières années telles que la diminution du parc de voitures essence, l'apparition sur le marché de véhicules neufs moins polluants, les motorisations innovantes : biocarburant, électrique, etc... La mise à jour du parc roulant Ifsttar n'était pas disponible pour cette étude.

Il est à noter que la limitation de vitesse a été réduite passant de 90 à 70 km/h avec la création de la voie réversible, et ce sur l'ensemble de la section à 3 voies.

*L'étude conclut « à une baisse globale des émissions de polluants atmosphériques et de GES après aménagement de la voie réversible qu'il y ait eu une hausse de trafic ou non. Pour les cas où le trafic est constant entre 2009 et 2011, les améliorations semblent pouvoir être directement attribuées à une meilleure fluidité du trafic associée à une réduction de la vitesse de circulation à 70km/h. Cette vitesse est d'ailleurs favorable à la qualité de l'air, car elle constitue une vitesse optimale pour les émissions de polluants des véhicules légers.*

*Malgré les incertitudes de certaines données de trafic et les hypothèses prises, la baisse globale des consommations énergétiques et des émissions de polluants atmosphériques et de GES calculée s'avère suffisamment significative, toutes sections confondues, pour les corrélérer avec l'amélioration des conditions de trafic générée par l'aménagement de la voie réversible sur le pont de St Nazaire. »*

### 3.2.4 - Impact de la voie réversible du pont de Saint-Nazaire sur le comportement des usagers

L'ERA 33 du Cerema / DTer Ouest a mené une évaluation des comportements objectifs et subjectifs des usagers à partir de l'enregistrement des images vidéo sur l'ensemble du pont à 3 périodes différentes (septembre 2010, mai 2011 et août 2011) et de l'analyse des réponses à des questionnaires, qui ont été diffusés auprès de 4 grands employeurs de St-Nazaire (Airbus, STX, Hôpital de St-Nazaire, etc.).

Le premier questionnaire a été diffusé à l'ensemble des employés de ces entreprises en juillet 2010 afin d'analyser le ressenti des usagers a priori, avant la mise en service du système. 168 personnes ont répondu à la totalité de ce premier questionnaire. Le 8 octobre 2011, un deuxième questionnaire a été activé sur Internet ; les réponses obtenues concernent les enquêtés du premier questionnaire qui ont accepté de poursuivre l'étude en ayant renseigné leur adresse mail (étude longitudinale). 60 personnes ont rempli le deuxième questionnaire en totalité.

Le rapport donne des éléments directs sur l'acceptabilité de la voie réversible, mais également des éléments de connaissances quant à l'acceptabilité et aux modèles permettant d'en rendre compte et de prédire l'usage d'une innovation technologique.

La demande de la DSCR concernait, d'une part, la lisibilité par les usagers de l'interdiction de franchissement de la ligne lumineuse de la voie centrale, lors de l'activation de sa fonction réversible et lors de sa neutralisation et, d'autre part, l'analyse du comportement des usagers dans la zone de franchissement de quatre à trois ou deux voies. Le rapport de l'ERA 33 conclut que *« sur cet aspect de la lisibilité et de l'utilisation de la voie réversible, on peut dire que, globalement, cette voie a fait l'objet d'une bonne appropriation dans le contexte matériel qui est le sien (c'est-à-dire au regard de l'ensemble des technologies, matériels et signalisations déployés): les usagers semblent en faire "bon usage" ou plutôt une bonne utilisation, à quelques exceptions près, exceptions qui sont assimilables à des comportements classiques d'erreurs ou bien encore de non respects volontaires de la réglementation.*

*Si l'on dépasse maintenant le cadre posé par la DSCR et que l'on s'intéresse de manière plus globale à l'acceptabilité de la voie réversible mise en service sur le pont de Saint-Nazaire, c'est-à-dire à son usage, on peut conclure que la voie réversible a fait l'objet d'une bonne acceptabilité a priori de la part des usagers et d'une encore meilleure acceptation : les enquêtés déclaraient vouloir utiliser la voie, déclaraient l'utiliser et l'analyse des comportements objectifs montrent qu'effectivement ils l'utilisent. Ces éléments peuvent être reliés avec les évaluations faites des différentes variables du modèle UTAUT (efficacité perçues, facilités perçues...). De ce point de vue, il est intéressant de noter que ce modèle, développé plutôt dans le cadre d'innovations technologiques, semble trouver tout son sens utilisé dans le domaine des transports. On notera cependant que, de ce point de vue, la voie réversible est un cas particulier : mise en place pour pallier les problèmes de trafic saturé (gestion de trafic), elle répond à un besoin des utilisateurs qui peuvent en apprécier immédiatement les bénéfices, ce qui n'est pas toujours le cas d'autres mesures de gestion. A titre d'exemple, on pourra citer les mesures d'accès régulés qui ont dû être abandonnées dans certaines villes des États-Unis, non pas suite à une inefficacité, mais suite à un rejet des conducteurs.*

*Enfin, cet élément, comme ceux observés concernant les informations délivrées (préparant au changement) ou bien encore l'incompréhension quant à la limitation de vitesse, militent pour l'accompagnement au changement.*

*Comme il a déjà été évoqué, les usagers ne se contentent pas de comprendre et respecter les informations qui leur sont délivrées. Pour que ces informations soient respectées, il faut bien évidemment qu'elles soient comprises (il s'agit d'un principe de base), mais également qu'elles s'intègrent au contexte de l'utilisateur : besoins, représentations, habitudes, normes... Autrement dit, pour qu'une information soit respectée ou pour qu'un dispositif soit utilisé, il faut qu'ils soient acceptables.*



*Pour terminer, on soulignera également un autre point important. L'évaluation de l'acceptabilité de la voie réversible était une évaluation a posteriori : le dispositif de la voie réversible a été imaginé puis son acceptabilité a été évaluée. Cela a conduit, d'une part, à ne pas pouvoir disposer idéalement de la meilleure méthodologie [...] et, d'autre part, à devoir se contenter d'une sorte d'état des lieux. Or, l'acceptabilité ne doit pas être vue comme l'Évaluation suprême qui vient sanctionner, positivement ou négativement, une innovation et le travail des ingénieurs. Au contraire, elle doit être envisagée comme le processus qui accompagne l'innovation, elle fait partie de l'innovation. Elle doit permettre à l'invention de devenir innovation : l'innovation "représente l'ensemble du processus social et économique amenant une invention à être finalement utilisée, ou pas". De ce point de vue, la mise en place de nouvelles infrastructures dynamiques devrait systématiquement conduire à suivre le canevas méthodologique préconisé par Terrade et al. (2009). Selon ces auteurs, le développement d'un nouveau dispositif technologique devrait nécessairement conduire les concepteurs à tenir compte de l'utilisateur, et ce, de la conception au déploiement, dans une logique de co-construction entre les sciences de l'ingénieur et les sciences humaines et sociales. »*

## Conclusions

Dans la mesure où SERRES, et plus particulièrement l'action n°2, était la première opération de recherche française à traiter de la gestion dynamique des voies, cette action a permis de rassembler des éléments de connaissance sur les problématiques liées à la mise en œuvre de ce type de projet. Ceci a été rendu possible grâce à un mode opératoire diversifié, mêlant entretiens ciblés avec des personnes expertes du domaine, diagnostic détaillé des manques et des besoins, analyse de logiciels de simulation existants, analyse comportementale des usagers expérimentant un dispositif de gestion dynamique fictif ou existant et recherche exploratoire sur du matériel innovant. L'évaluation multi-critères de la voie réversible du Pont de Saint-Nazaire a complété les apports de cette action.

Par ailleurs, cette synthèse ne peut que difficilement rendre compte de l'important travail de coopération mené entre ingénieurs et chercheurs tout au long de la vie de l'opération pour expérimenter différents dispositifs de signalisation et leur compréhension par les usagers. Ces échanges et les discussions qu'ils ont générées sont un autre apport à part entière de cette action n°2 de SERRES.

Comme le précise cette synthèse, si des premiers éléments de réponse ont pu être donnés, des questions restent néanmoins en suspens. On pourra citer la problématique de la vitesse, peu abordée dans cette action, et qui mériterait une réflexion en soi, mais également la problématique de la compréhension et de l'acceptabilité des usagers confrontés à un dispositif de voie réservée à un ou plusieurs modes de transports. Or, cette mesure est celle qui devrait faire l'objet des plus nombreux déploiements dans un futur proche en France, et la question de l'appropriation de cette mesure par les usagers - qu'ils utilisent la voie réservée ou non - a dû être mise de côté dans SERRES, faute de temps pour détailler finement la problématique et décrire précisément le mode opératoire pour la traiter.

Cette question devrait cependant trouver un écho dans une prochaine action de recherche, avec comme objectifs de déployer des mesures davantage acceptées par les usagers, et d'adapter voire de définir des modèles de trafic plus pertinents pour évaluer a priori ces mesures de gestion dynamique des voies.

## Annexe : rapports produits dans l'action n°2 de l'opération de recherche SERRES

Belloche, S., Bernard, G. & Rousic, S. (2014). Manques actuels pour la mise en œuvre de la gestion dynamique des voies sur le réseau routier – Synthèse des entretiens, Cerema, 32p

Belloche, S., Bernard, G. & Rousic, S. (2015). Analyse bibliographique des manques dans le déploiement de mesures de gestion dynamique des voies, Cerema, 64p

Bernard, G., & Louah, G. (2012). Voie réversible du pont de St-Nazaire - Evaluation à 1 an (sécurité, fonctionnement et trafic), Cerema Direction Territoriale Ouest, 50 p.

Bordel, S., & Désiré, L. (2013). Analyse longitudinale de l'acceptabilité de la voie réversible du pont de St-Nazaire : analyse des comportements objectifs et subjectifs des usagers, Cerema Direction Territoriale Ouest, 193 p.

Duret, A. (2014). Simulation dynamique des effets de mesures de gestion dynamique de voies : paramètres clés et points d'attention, Cerema Direction Territoriale Centre-Est, ERA38, 23 p.

Potier, V. (2012). Évaluation environnementale de la voie réversible du Pont de St-Nazaire, Cerema Direction Territoriale Ouest, 24 p.

Shalar, A., & Brémond, R. (2013). Active Lane Delineation Application: Simulator Trial and Recommendations on the Design, INROADS Deliverable D6.2, 20p

Villa, C., Brémond, R., Saint-Jacques, E. & CIDAUT (2013). Report on design for LED Applications: human factor, INROADS Working paper D6.1, 88p.



Connaissance et prévention des risques – Développement des infrastructures – Énergie et climat – Gestion du patrimoine d'infrastructures – Impacts sur la santé – Mobilités et transports – Territoires durables et ressources naturelles – Ville et bâtiments durables

Document consultable et téléchargeable sur le site <http://www.cete-ouest.developpement-durable.gouv.fr/>

*Ce document ne peut être vendu. La reproduction totale du document est libre de droits.  
En cas de reproduction partielle, l'accord préalable de l'auteur devra être demandé.  
Référence : 14XXw – ISRN : XXXXXXXXX*